



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

REC'D 10 MAR 2003

WIPO

PCT

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterla-
gen stimmen mit der
ursprünglich eingereichten
Fassung der auf dem näch-
sten Blatt bezeichneten
europäischen Patentanmel-
dung überein.

The attached documents
are exact copies of the
European patent application
described on the following
page, as originally filed.

Les documents fixés à
cette attestation sont
conformes à la version
initialement déposée de
la demande de brevet
européen spécifiée à la
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

02425052.4

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

**Blatt 2 der Bescheinigung
Sheet 2 of the certificate
Page 2 de l'attestation**

Anmeldung Nr.:
Application no.:
Demande n°: 02425052.4

Anmeldetag:
Date of filing: 04/02/02
Date de dépôt:

Anmelder:
Applicant(s):
Demandeur(s):
Area Sistemi S.r.l.
10138 Torino
ITALY

Bezeichnung der Erfindung:
Title of the invention:
Titre de l'invention:

Optical method and device for performing geometrical measurements

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s) revendiquée(s)

Staat:
State:
Pays:

Tag:
Date:
Date:

Aktenzeichen:
File no.
Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation:
International Patent classification:
Classification Internationale des brevets:

G01B11/10

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten:
Contracting states designated at date of filing:
Etats contractants désignés lors du dépôt:

AT/BE/CH/CY/DE/DK/ES/FI/FR/GB/GR/IE/IT/LI/LU/MC/NL/PT/SE/TR

Bemerkungen:

Remarks:

Remarques:

See for the original title of the application page 1 of the description.

PROCEDIMENTO E DISPOSITIVO OTTICO PER L'EFFETTUAZIONE DI MISURE GEOMETRICHE

La presente invenzione si riferisce ai sistemi ottici per
5 l'effettuazione di misure geometriche, e più in particolare ha per
oggetto un procedimento e un'apparecchiatura per l'effettuazione di
misure geometriche su oggetti, anche in movimento.

Un problema di grande rilievo che si presenta nella produzione
di manufatti come, ad esempio, fili metallici, fibre tessili, fibre
10 ottiche, oppure materiali estrusi o torniti, è la misurazione
continua e in tempo reale delle loro dimensioni meccaniche, quali il
diametro o lo spessore (o in generale la distanza tra due bordi), o
della posizione di un bordo rispetto ad un riferimento.

Un'esigenza generale è quella di misurare con precisione
15 elevata dimensioni anche molto piccole (p. es. dell'ordine dei
centesimi di millimetro), senza interferire con il ciclo produttivo.

Le tecniche di misura che meglio si prestano al
raggiungimento di questi obiettivi sono basate su un'elaborazione
ottica di un fascio che illumina l'oggetto da misurare. Su un
20 rivelatore si forma un'immagine che contiene le informazioni
dimensionali richieste, che sono poi estratte mediante opportune
elaborazioni elettroniche. Queste tecniche permettono di effettuare
una misura in linea senza contatto diretto con l'oggetto da
misurare, e quindi senza arrestare o rallentare il ciclo produttivo.

25 Tra queste tecniche sono particolarmente interessanti quelle
che si basano sull'analisi della luce diffratta dall'oggetto quando è
illuminato da un fascio laser ben collimato. Esempi sono descritti
nell'articolo "Absolute diameter measurement", J. Kiss, Wire &
Cable Technology International, Marzo 1999, pagg. 193 -194, e in
30 WO-A 8904946. In questi esempi, la luce diffratta è raccolta da un

dispositivo ad accoppiamento di carica (CCD), la cui estensione è pari all'intero campo di misura. Si tratta quindi di apparecchiature che non prevedono parti meccaniche in movimento, a differenza di strumenti commerciali basati sulla scansione di un fascio laser
5 effettuata mediante specchi rotanti, e quindi sono più affidabili benché il procedimento di elaborazione del segnale risulti ancora piuttosto complesso.

Un'altra tecnica è descritta ad esempio da F. Docchio e altri nell'articolo "On-Line Dimensional Analysis of Surfaces Using
10 Optical Filtering and Elaboration Techniques in the Fourier Plane", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 38, N.3, Giugno 1989, pagg. 811 - 814, la quale prevede di sottoporre il fascio diffratto ad un filtraggio spaziale realizzato secondo le tecniche dell'ottica di Fourier. Per esempio, per la misura del
15 diametro di un filo, il filtraggio è effettuato con un filtro passa alto costituito da un elemento opaco circolare di diametro opportuno posto in corrispondenza dell'asse ottico del sistema. Il filtraggio esalta il contorno dell'immagine e dà sul rivelatore una distribuzione d'intensità comprendente un picco molto stretto in
20 corrispondenza dei bordi dell'oggetto. E' quindi facilitata la misura dell'oggetto.

In altre parole, il filtraggio spaziale consente di avere un segnale elettrico molto "nitido" da cui ricavare la misura ricercata. Tuttavia questo risultato, analiticamente valido, può essere
25 ottenuto in pratica solamente utilizzando un sistema ottico molto vicino all'idealità, in cui cioè:

- la sorgente laser è perfettamente collimata e monocromatica;
- l'oggetto sottoposto a misura è situato nell'esatto piano focale di una lente del sistema di elaborazione ottica;

30 - le lenti si intendono sottili e prive di aberrazioni;

- le aperture delle lenti sono molto grandi rispetto alla dimensione da misurare.

L'esperienza pratica dimostra quanto, in realtà, sia difficile rispettare queste condizioni nel corso di un processo di produzione industriale. Esse sono riproducibili, al più, in laboratorio, usando
5 strumentazione sofisticata e quindi costosa ed effettuando le misure su oggetti posizionati con cura, preferibilmente fermi.

Provando a realizzare un'apparecchiatura che non corrisponda anche solo ad uno dei requisiti ideali, si nota, sperimentalmente,
10 che in corrispondenza di ciascun bordo dell'oggetto non si crea più uno stretto massimo di intensità, ma si assiste ad una perdita di definizione del picco (è l'esperienza comune di una "immagine sfocata", in cui i contorni delle figure non risultano più netti), unitamente alla crescita del rumore ottico di fondo dovuto a
15 componenti ad alta frequenza spaziale divenute quantitativamente rilevanti. La determinazione dei punti esatti corrispondenti ai bordi dell'oggetto sarebbe quindi viziata da un'incertezza non trascurabile, inaccettabile se è richiesto un grado di precisione submicrometrico.

20 Lo scopo dell'invenzione è invece quello di sviluppare una metodologia di misura adatta ad apparecchiature di costo contenuto, per misurare oggetti anche in rapido movimento e che possano subire limitati spostamenti dal piano focale. In altre parole, l'invenzione vuole rivolgersi ad applicazioni di tipo
25 industriale, dove le apparecchiature devono essere impiegate in condizioni anche gravose e ben distanti dall'idealità del laboratorio e per effettuare misurazioni continue su oggetti in movimento.

Questo scopo è raggiunto con il procedimento oggetto delle rivendicazioni 1 - 11 e con il dispositivo oggetto delle rivendicazioni
30 12 - 25.

Lo scopo dell'invenzione è raggiunto grazie ad un filtraggio spaziale passa banda, realizzato con un filtro di particolare costituzione e utilizzato per minimizzare o annullare le fonti di disturbo introdotte dai mezzi realizzativi non ideali, abbinato ad
5 una particolare elaborazione di un segnale elettrico risultante dalla rivelazione di un fascio luminoso filtrato: questa elaborazione consente, tramite la sola analisi del segnale, di risalire alla posizione spaziale esatta dei bordi dell'oggetto illuminato.

A maggior chiarimento si fa riferimento ai disegni allegati, che
10 mostrano un esempio di realizzazione dell'invenzione e in cui:

- la fig. 1 è uno schema a blocchi del dispositivo secondo l'invenzione;
- le figure 2 e 3 sono rappresentazioni schematiche della parte ottica del dispositivo di fig. 1, rispettivamente in vista laterale ed
15 in pianta;
- la fig. 4a è una vista frontale di un tipo di filtro passa banda nel caso unidimensionale;
- la fig. 4b è una vista frontale di un tipo di filtro passa banda nel caso bidimensionale;
- 20 - le figg. 5a e 5b sono un grafico dell'andamento dell'intensità di campo sul rivelatore, nel caso di una misurazione unidimensionale, rispettivamente secondo la previsione teorica calcolata e nel caso reale rilevato; e
- la fig. 6 è un grafico ingrandito del segnale elettrico reale rilevato
25 immediatamente all'uscita del rivelatore e dopo il filtraggio elettrico passa banda;
- la fig. 7a è un grafico delle due funzioni seno integrale relative ad un medesimo bordo (linee tratteggiate) e della loro somma (linea continua spessa);
- 30 - la fig. 7b è un grafico del quadrato della somma delle due

funzioni seno integrale di fig. 7a;

- la fig. 8 è un grafico dell'intensità di campo ottenuto secondo la tecnica nota.

Nei disegni, le linee a tratto singolo rappresentano il percorso di segnali ottici e quelle a tratto doppio il percorso di segnali elettrici. Inoltre, per ragioni di chiarezza, le dimensioni dell'oggetto su cui si effettuano le misure sono fortemente ingrandite e non sono in scala con quelle degli altri componenti del dispositivo.

Come si vede in fig. 1, il dispositivo oggetto dell'invenzione comprende essenzialmente:

- una sorgente luminosa 1, in particolare un diodo laser, che emette un fascio di luce monocromatica 2 con distribuzione di campo a livello di intensità sostanzialmente costante e a raggi paralleli e con dimensioni tali da abbracciare l'oggetto in esame 5;
- un sistema di elaborazione ottica 6, comprendente un filtro spaziale passa banda, che riceve ed elabora il fascio a valle dell'oggetto 5;
- un rivelatore 10, in particolare del tipo comprendente una matrice di dispositivi ad accoppiamento di carica (CCD), per formare un'immagine del fascio uscente dell'elaboratore ottico 6 e generare un segnale elettrico rappresentativo dell'intensità della distribuzione di campo associata a tale fascio; e
- mezzi 11 di elaborazione del segnale elettrico generato dal rivelatore 10, comprendenti: un filtro passa banda 12, con frequenze (temporali) di taglio corrispondenti a quelle spaziali del filtro passa banda dell'elaboratore ottico 6; un'unità di calcolo 13 (un microprocessore o simili) per determinare il valore della grandezza cercata; ed eventualmente un oscilloscopio 14. Il filtro elettrico passa banda 12 può essere realizzato sia in hardware,

sia in software, cioè essere parte del programma dell'unità di calcolo 13. Nel caso di misure in linea nel corso di un processo di produzione, l'unità 13 può far parte di un più generale sistema di controllo del processo.

5 Nella descrizione che segue, si supporrà che l'oggetto sottoposto a misura sia un filo 5 del quale si vuole misurare il diametro. Si supporrà inoltre che il filo sia orientato secondo l'asse y di un sistema cartesiano ortogonale con origine sull'asse ottico del dispositivo di misura; il fascio luminoso 2 si propaghi in una
10 direzione parallela all'asse z; la misura, che nel caso descritto è unidimensionale, avverrà invece lungo l'asse x.

Con riferimento alle figure 2 e 3, il fascio 2 emesso dalla sorgente 1 è collimato da un'ottica di collimazione, p. es. costituita da una lente convergente 3, ed espanso da un espansore di fascio 4
15 fino ad avere, nella direzione x, dimensioni superiori al diametro del filo 5, posto preferibilmente in corrispondenza della parte centrale del fascio collimato ed espanso 2'. Il sistema ottico 6 di
elaborazione del fascio parzialmente intercettato e diffratto dal filo 5 comprende una prima lente convergente 7, di lunghezza focale f_1 ,
20 il filtro spaziale passa banda 8, che sarà descritto con maggiori dettagli in seguito, e una seconda lente convergente 9, di lunghezza focale f_2 , confocale alla lente 7. Il filo 5 è posto nel piano focale anteriore A della lente 7, mentre il filtro spaziale 8 è posto nel piano focale comune C delle lenti 7 e 9. Il rivelatore 10 è posto a
25 sua volta nel piano focale posteriore E della lente 9.

In un caso come quello descritto, cioè in cui si voglia effettuare una misurazione esclusivamente unidimensionale, la lente 7 può essere di tipo cilindrico, con le generatrici parallele al filo 5, cioè all'asse y, mentre la lente 9 è una convenzionale lente
30 sferica. Essendo il filo 5 posto nel piano focale anteriore A della

lente 7, la distribuzione di campo presente nel piano focale posteriore C di questa è proporzionale alla trasformata di Fourier spaziale unidimensionale (calcolata rispetto alla direzione di misura x) della distribuzione di campo immediatamente a valle dell'oggetto (posizione indicata con A+). La componente spaziale continua del campo in A+ si traduce, nel piano di Fourier (quindi in C-), in un picco molto accentuato centrato sull'asse ottico. Al fine della misurazione dimensionale dell'oggetto, questo picco è di nessun interesse, in quanto l'informazione legata alla misura da rilevare è codificata nelle frange laterali della distribuzione di campo sul piano di Fourier. Pertanto uno dei compiti del filtro 8, posto nel piano focale posteriore C della lente 7, è di rimuovere il picco indesiderato grazie all'azione del filtro passa alto (corrispondente all'ostacolo opaco posizionato sull'asse ottico), come nella tecnica nota. L'immagine finale filtrata, ottenuta tramite la lente 9, evidenzierà, con grande contrasto rispetto al fondo scuro, i bordi dell'oggetto, nelle posizioni $10'$ e $10''$.

Oltre all'eliminazione della componente spaziale continua, il filtro 8, grazie all'azione concomitante del filtro passa basso, provvede anche a minimizzare o annullare le fonti di disturbo dovute alle caratteristiche non ideali dei componenti utilizzati e alle condizioni di misura non ideali.

Nella fig. 4a è rappresentata una possibile struttura di un filtro passa banda 8 nel caso si voglia effettuare una misura esclusivamente unidimensionale. Il filtro 8 è una maschera con una striscia opaca $8'$, avente una larghezza opportuna w_{h0} nella direzione x e asse longitudinale passante per l'asse ottico, posta al centro di una finestra trasparente allungata o fessura $8''$ di larghezza w_{hl} , anch'essa centrata sull'asse ottico dell'apparecchiatura. P. es., il filtro 8 può essere costituito da una

lastrina resa opaca in corrispondenza delle zone 8' e delle zone 8''
adiacenti ai bordi superiore e inferiore, e con due zone trasparenti
simmetriche rispetto alla striscia opaca 8'. Se la zona trasparente
8'' è costituita da una fessura, la zona opaca 8' può essere un filo o
5 una barretta fissata alle sue estremità ai bordi laterali della
lastrina.

In Fig. 4b è rappresentata a titolo esemplificativo una
possibile struttura di un filtro passa banda 28 nel caso si voglia
effettuare una misura bidimensionale. Il filtro 28 è una maschera
10 opaca sulla quale è ricavata una corona trasparente 28'', avente
diametro w_{hi} , che definisce un cerchio opaco interno 28' di
diametro w_{lo} ed una zona opaca esterna 28'''.

Per dare un'indicazione quantitativa, se il filo 5 ha un
diametro $w_{strip} = 0,1$ mm, w_{lo} può valere 0,4 mm e w_{hi} può valere 2
15 mm. Per una misura di questo tipo, il fascio collimato 2' può avere
una larghezza $w_0 = 4$ mm.

Nel caso unidimensionale, la lunghezza delle due zone 8', 8''
(cioè la loro dimensione nella direzione y) non influisce sul
funzionamento del filtro: essa corrisponderà sostanzialmente alla
20 lunghezza del tratto di filo 5 focalizzata dalla lente 7.

Se il dispositivo è usato per effettuare misure su un oggetto in
movimento lungo l'asse y, occorre tener conto che la conversione
del segnale ottico in elettrico da parte del rivelatore 10 e le
elaborazioni dei mezzi elaborativi 11 richiedono un tempo non
25 nullo. Si otterrà allora una misura continua se il tratto di filo
messo a fuoco dalla lente 7 è almeno uguale allo spostamento
compiuto dall'oggetto 5 nel tempo di conversione ed elaborazione.

Un'analisi di modellizzazione matematica del comportamento
del sistema ottico mostra che la distribuzione del campo sul
30 rivelatore 10 è rappresentata da una funzione continua, e più

precisamente da una somma di quattro funzioni seno integrale. Due di queste si azzerano entrambe a quota $x = -\frac{f_2}{f_1} \frac{W_{\text{strip}}}{2}$ (e sono

quindi associate a un primo bordo dell'oggetto 5) mentre le altre due sono identiche a quelle della prima coppia ma hanno segno
5 opposto e si azzerano a quota $x = +\frac{f_2}{f_1} \frac{W_{\text{strip}}}{2}$ (e quindi sono

associate al secondo bordo). Le due funzioni di ciascuna singola coppia hanno massimi e minimi relativi che oscillano a frequenze differenti, inversamente proporzionali rispettivamente alle dimensioni costitutive w_o e w_H del filtro 8.

10 In Fig. 7a sono rappresentati i grafici delle due funzioni seno integrale relative ad un medesimo bordo (linee tratteggiate) e della loro somma (linea continua spessa). In Fig. 7b è invece rappresentato il grafico del quadrato di questa somma, che rappresenta l'intensità di campo, essendo questa grandezza fisica
15 quella unicamente rilevabile dal dispositivo ad accoppiamento di carica (CCD), così come dall'occhio umano:-----

Dunque, l'intensità associata al campo, in corrispondenza di ciascun bordo dell'oggetto 5, presenta una coppia di pronunciati punti di massimo separati da un punto di minimo (la funzione
20 infatti è continua), al posto di una singola, strettissima cuspidè ottenuta con il filtraggio esclusivamente passa alto della tecnica nota. L'andamento dell'intensità risultante dal filtraggio spaziale passa banda è rappresentato nelle figg. 5a e 5b relative, rispettivamente, all'andamento teorico e reale misurato
25 all'oscilloscopio, per un oggetto 5 e un filtro 8 con le caratteristiche indicate. Si vedono chiaramente le due coppie di massimi 100', 101' e 100", 101" e i minimi intermedi 102', 102". Il valore cercato sarà proporzionale alla distanza tra i due minimi 102', 102".

In Fig. 8 è rappresentata l'intensità di campo come

risulterebbe nel caso pratico identico a quello fin qui descritto per illustrare l'invenzione, ma in cui si fosse adoperato esclusivamente un filtro passa alto, così come indicato dalla tecnica nota. Si può notare che in corrispondenza di ogni bordo dell'oggetto si delinea un unico picco a cuspidè (punto di discontinuità) dovuto alle componenti spaziali ad altissima frequenza che non vengono arrestate. In questo caso il valore ricercato sarebbe proporzionale alla distanza tra i due punti di singolarità 200 e 201.

Più in generale si può affermare che, quando un campo uniforme (come quello associato al fascio 2), perturbato dalla discontinuità spaziale costituita da un ostacolo opaco interposto in esso (l'oggetto 5), è sottoposto ad un processo di filtraggio spaziale di tipo passa banda in cui vengano, cioè, contemporaneamente arrestate la componente spaziale continua (a frequenza zero) e le componenti di alta frequenza spaziale, allora la distribuzione di campo risultante sul rilevatore 10 sarà costituita da una funzione di tipo continuo caratterizzata, secondo quanto stabilito dal teorema di convoluzione, dalla somma di tante funzioni tra loro identiche eccettuato il segno, ognuna di esse centrata in esatta corrispondenza della discontinuità spaziale che in origine ha perturbato il campo (cioè i bordi dell'oggetto opaco 5), queste funzioni dipendendo esclusivamente dalle caratteristiche costruttive del filtro 8 e non dell'oggetto da misurare 5.

E' ovvia, a questo punto, la convenienza a scegliere un opportuno tipo di filtro passa banda che generi, in corrispondenza di ogni discontinuità o bordo dell'oggetto, distribuzioni particolarmente facili ad essere individuate. L'esempio descritto è uno di questi casi. In esso, per ogni discontinuità è presente un gruppo oscillante (vedi Figg. 7a, 7b) costituito esclusivamente dalle frequenze spaziali che dipendono dalle dimensioni meccaniche

(note e fisse) del filtro passa banda a fessura.

Tuttavia, possono essere realizzate e impiegate strutture ottiche anche più complesse di quella elementare indicata in Figg. 4a e 4b e finora descritta, a condizione che:

- 5 - queste strutture siano in grado di arrestare la componente spaziale continua (a frequenza zero) di una distribuzione di campo (compito passa alto: consente l'estrazione del contorno dell'oggetto), e contemporaneamente
- 10 - siano in grado di arrestare le sue componenti ad alta frequenza spaziale (compito passa basso: elimina i punti di discontinuità nella distribuzione risultante e gli eventuali disturbi introdotti da mezzi realizzativi non ideali),
- 15 - le due precedenti condizioni siano scelte in modo tale che la distribuzione luminosa passante (non arrestata) conservi ancora l'informazione relativa alla posizione spaziale dei punti di discontinuità, cioè dei bordi dell'oggetto (nell'esempio, le dimensioni delle fessure del filtro indicate consentono un passaggio di banda sufficiente), e
- 20 - sia possibile conoscere a priori e saper distinguere il tipo di segnale che deve comparire in corrispondenza di ciascun bordo dell'oggetto, e siano solo ignote (da misurare) le posizioni esatte dove compariranno questi segnali tipici. Questa condizione è resa possibile effettuando una scelta opportuna del tipo e forma del filtro (nell'esempio, le frequenze di oscillazione dei gruppi oscillanti sono ricavate dalle dimensioni fisiche delle fessure).
- 25

Possibili filtri passa banda, diversi da quello illustrato nelle Figg. 4a e 4b, potrebbero essere costituiti, ad esempio, da trasparenze progressive, vale a dire prive di salto netto tra zona d'arresto (opacità) e di passaggio (trasparenza), ma aventi zone di
30 transizione sfumate secondo regole precise, mediante un

progressivo annerimento riportato su un supporto trasparente. Altri ancora potrebbero avere una certa asimmetria, costruita ad arte, delle fessure trasparenti, rispetto all'asse ottico, o essere costituiti da una serie di fessure trasparenti, quali un reticolo, ecc.

5 Ritornando ora all'esempio in esame si può notare che un segnale come quello delle figg. 5a, 5b, caratterizzato da una sequenza massimo-minimo-massimo in corrispondenza di ciascun bordo dell'oggetto, presenta notevoli vantaggi dal punto di vista della misura:

- 10 - la sequenza è facilmente individuabile ed elaborabile da un procedimento software o da un circuito hardware elettronico. Il fatto che si tratti di punti di massimo e minimo, li rende insensibili ad eventuali offset dovuti a fluttuazioni di luminosità della sorgente, oppure a derive dei circuiti elettronici;
- 15 - la forma generale di questo segnale dipende esclusivamente dalle dimensioni di costruzione (fisse e note) del filtro 8, ed è indipendente dalla forma o dimensione dell'oggetto sottoposto a misura. E' possibile dunque stabilire un criterio unico di riconoscimento (hardware o software) che risulterà valido in
20 generale per tutti i tipi e le dimensioni degli oggetti;
- la distanza relativa tra i punti di massimo 100, 101 di una coppia è nota e costante in quanto dipende esclusivamente dalla costituzione del filtro passa banda 8 e non dalla dimensione dell'oggetto misurato 5. Può essere perciò comodamente
25 sfruttata come riferimento di misura, rapportandola alla misura incognita da rilevare in modo da ottenere una continua autotaratura dello strumento;
- l'ampiezza e la simmetria dei massimi costituisce un criterio di verifica di bontà del rilevamento: in particolare può evidenziare
30 se sul bordo dell'oggetto vi siano presenti eventuali difetti.

Riassumendo, il filtraggio spaziale passa banda consente di ottenere una distribuzione finale di campo continua, caratterizzata da gruppi funzionali noti e fissi (un insieme di frequenze spaziali di oscillazione noto e fisso), senza aver perduto l'informazione relativa alla posizione originaria dei bordi dell'oggetto sottoposto a misura.

Sempre con riferimento alle figg. 5a e 5b si noti inoltre la netta corrispondenza fra il tracciato teorico e quello reale riprodotto mediante l'oscilloscopio.

Il fatto che la distribuzione di campo risultante sul rivelatore sia di tipo continuo e che sia nota a priori la frequenza spaziale massima passante è di estrema importanza pratica per due aspetti fondamentali.

1) E' possibile convertire la distribuzione filtrata (continua) dell'intensità di campo in un segnale elettrico (elaborabile dai circuiti elettronici 11) altrettanto continuo e del tutto fedele a quello ottico, pur attraverso un campionamento discreto quale quello effettuato dal rivelatore a CCD (che è un trasduttore di costo contenuto e di ampia disponibilità di mercato). Anche dopo tale campionamento è possibile ricostruire il segnale originario senza perdita di informazione, se si conosce a priori la frequenza massima che compone quel segnale (come nel caso in esame) e purché ovviamente siano rispettate le condizioni imposte dal teorema del campionamento. Ciò è facilmente ottenibile con un'opportuna scelta dell'ingrandimento complessivo f_2/f_1 delle lenti 7, 9 e della densità di distribuzione degli elementi fotosensibili sul rivelatore 10. In queste condizioni, il segnale a gradini in uscita dal CCD (linea A di Fig. 6) può essere filtrato a sua volta dal filtro elettronico passa banda 12. Il segnale elettrico risultante (linea B di fig. 6) sarà di tipo analogico (continuo) e in tutto fedele alla distribuzione di intensità del

campo. Essendo un segnale continuo, consente misure con risoluzione ultra-alta. Va precisato che il procedimento descritto non sarebbe applicabile se la distribuzione di campo originaria non fosse continua, o comunque fosse composta da frequenze
5 spaziali elevatissime (cioè da picchi di intensità a cuspidi molto stretti), come quella ottenuta con la tecnica nota.

2) Il filtraggio ottico passa banda e il suo corrispettivo elettronico "puliscono" il segnale da tutte le componenti indesiderate di disturbo introdotte dai mezzi realizzativi non ideali sia ottici sia
10 elettronici. In particolare sono arrestate le alte frequenze spaziali dovute al rumore ottico (granulosità, piccoli spostamenti dal piano focale dell'oggetto, lenti non ideali) e al rumore elettronico (disturbi di alimentazione, del campionamento, ecc.). Contemporaneamente sono arrestati anche i possibili disturbi a
15 bassa frequenza, in particolare la componente continua (l'illuminazione non uniforme, le derive dei circuiti elettronici, ecc.)

Il procedimento di duplice filtraggio passa banda ottico ed elettronico consente, in definitiva, di veicolare attraverso mezzi
20 realizzativi non ideali l'informazione utile alla misura, facendola giungere integra fino all'unità di calcolo 13. Questo risultato è facilitato dall'eventuale uso di una lente cilindrica 7 nel sistema di elaborazione ottico 6.

Va precisato che la presenza contemporanea di due bordi di
25 un oggetto sottoposto a misura (o di un bordo e di un riferimento) ad una distanza relativa non infinita (w_{strip}) fa sì che vi possa essere un'influenza reciproca tra i gruppi funzionali nati in corrispondenza di ciascun bordo, la cui influenza non è del tutto ancora smorzata alla distanza occupata dal secondo bordo. Nel
30 caso descritto, ciò comporta che la distanza tra i due minimi del

segnale d'intensità non sia esattamente w_{strip} . L'errore è tanto maggiore quanto più vicini sono i bordi.

Questo errore di misura può però essere corretto rapidamente, usando una semplice tavola di corrispondenza, tenendo conto che, comunque, vi è una corrispondenza biunivoca tra le dimensioni
5 reali dell'oggetto e la distanza relativa dei due minimi, cioè del fatto che a diverse dimensioni reali dell'oggetto corrispondono diverse distanze relative dei minimi (cioè diverse misure), e viceversa. E' garantita, in questo modo, la ripetitività della misura.

10 E' anche possibile, se l'unità di calcolo e le esigenze temporali della misura lo consentono, determinare l'errore mediante calcolo matematico: una volta misurata sul segnale rilevato la distanza relativa tra i due minimi, si calcola una prima stima dell'errore ricostruendo la distribuzione complessiva per una distanza pari a
15 quella misurata e quindi si ricava un nuovo valore di distanza. Ripetendo ricursivamente il calcolo, per approssimazioni successive è possibile rendere piccolo a piacere l'errore.

Ritornando al filtro passa banda 8 illustrato nelle Figg. 4a e 4b, le prove sperimentali hanno dimostrato che si ha una buona
20 identificazione dei bordi se il rapporto w_{H1}/w_{L0} tra la larghezza w_{H1} della finestra trasparente 8" e quella w_{L0} dell'elemento opaco 8' soddisfa la condizione $2,5 \leq w_{H1}/w_{L0} \leq 7$. Se inoltre i valori di w_{H1}/w_{L0} sono numeri interi dispari, si minimizza l'ampiezza dei punti di massimo di oscillazione secondari nella distribuzione di campo e si
25 evita l'introduzione di frequenze spaziali spurie, come si può facilmente dedurre dall'analisi matematica. Inoltre, se $w_{H1}/w_{L0} \leq 5$, i lobi principali del segnale a doppia punta sono privi di massimi e minimi relativi che potrebbero ingannare il processo di riconoscimento. Pertanto, nelle realizzazioni preferite w_{H1}/w_{L0} potrà
30 valere 3 o 5. Le figure 5 - 7 sono relative al caso di $w_{H1}/w_{L0} = 5$.

Si noti che sebbene l'invenzione sia stata descritta con riferimento alla misura dimensionale di un filo, essa potrà trovare vantaggiosamente applicazione ogniqualvolta sia necessario condurre una misura su un oggetto qualsiasi, sia rispetto a due
5 punti presi sull'oggetto e atti a originare una discontinuità nella distribuzione del campo associato al fascio 2, sia fra un punto dell'oggetto ed un riferimento esterno ad esso.

E' evidente che quanto descritto è dato unicamente a titolo di esempio non limitativo e che varianti e modifiche sono possibili
10 senza uscire dal campo di protezione dell'invenzione, come definito nelle rivendicazioni allegate.

Rivendicazioni

1. Procedimento per l'effettuazione di misure geometriche su un oggetto (5), in cui: si illumina l'oggetto (5) con un fascio di luce (2) avente una distribuzione di campo con intensità sostanzialmente costante, in modo da ottenere, a valle dell'oggetto (5), una distribuzione di campo con punti di discontinuità in corrispondenza di punti interessati dalla misura; si sottopone a un filtraggio ottico spaziale il fascio a valle dell'oggetto (5); si rivela il fascio filtrato generando un segnale elettrico rappresentativo dell'intensità del campo associato al fascio filtrato; e si ottiene il valore di una grandezza cercata mediante elaborazione di detto segnale elettrico, caratterizzato dal fatto che detto filtraggio spaziale è un filtraggio passa banda, che origina su un piano di rivelazione (E) una distribuzione di campo continua costituita dalla somma di una pluralità di funzioni tra loro identiche eccettuato il segno, centrate in esatta corrispondenza di un punto di discontinuità e dipendenti unicamente dalle caratteristiche del filtraggio passa banda, tale distribuzione di campo avendo un'intensità che presenta una coppia di pronunciati punti di massimo (100', 101', 100", 101") separati da un minimo (102', 102") in corrispondenza di ciascun punto di discontinuità, detta elaborazione del segnale elettrico fornendo la posizione relativa di detto minimo (102', 102") rispetto a un asse del fascio di misura (2).
2. Procedimento secondo la riv. 1, caratterizzato dal fatto che detta elaborazione del segnale elettrico comprende un filtraggio passa banda, con frequenze temporali di taglio corrispondenti alle frequenze di taglio spaziali del filtraggio passa banda ottico.
3. Procedimento secondo la riv. 1 o 2, caratterizzato dal fatto che

almeno uno di detti punti di discontinuità è costituito da un bordo dell'oggetto (5).

4. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 3, caratterizzato dal fatto che detto filtraggio passa banda ottico origina, su detto piano di rivelazione (E), una distribuzione di campo continua comprendente, in corrispondenza di ogni punto di discontinuità, gruppi oscillanti con frequenza di oscillazione e durata dipendenti dalle caratteristiche del filtraggio passa banda, e centro di oscillazione legato alla posizione del rispettivo punto di discontinuità, i gruppi oscillanti avendo un'intensità che presenta detta coppia di pronunciati punti di massimo (100', 101', 100", 101") separati da un minimo (102', 102") in corrispondenza del centro di oscillazione.
5. Procedimento secondo la riv. 4, caratterizzato dal fatto che detto filtraggio passa banda ottico è eseguito mediante un filtro (8; 28) comprendente una zona opaca (8'; 28'), centrata sull'asse del fascio (2) e avente una prima larghezza (w_{10}), e una zona trasparente (8"; 28") centrata anch'essa sull'asse del fascio (2) e avente una seconda larghezza (w_{h1}), maggiore della prima.
6. Procedimento secondo la riv. 5, caratterizzato dal fatto che detta prima e seconda larghezza (w_{10} , w_{h1}) soddisfano alla condizione $2,5 \leq w_{h1}/w_{10} \leq 7$.
7. Procedimento secondo la riv. 6, caratterizzato dal fatto che detta prima e seconda larghezza (w_{10} , w_{h1}) soddisfano alla condizione $w_{h1}/w_{10} = n$, con n intero e dispari.
8. Procedimento secondo la riv. 7, caratterizzato dal fatto che detta prima e seconda larghezza (w_{10} , w_{h1}) soddisfano alla condizione $w_{h1}/w_{10} = n$, con $n \leq 5$.
9. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a

- 3, caratterizzato dal fatto che detto filtraggio passa banda ottico è eseguito mediante un filtro con zone opache e trasparenti disposte asimmetriche rispetto all'asse del fascio (2).
10. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 5 3, caratterizzato dal fatto che detto filtraggio passa banda ottico è eseguito mediante un filtro che presenta una transizione graduale di trasmissività tra zone disposte in corrispondenza della banda passante e zone disposte in corrispondenza di bande da eliminare.
- 10 11. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 3, caratterizzato dal fatto che detto filtraggio passa banda ottico è eseguito mediante un filtro costituito da un reticolo.
12. Dispositivo ottico per l'effettuazione di misure geometriche su un oggetto (5), comprendente:
- 15 - mezzi (1) per generare un fascio di luce monocromatica (2) con distribuzione di campo con intensità sostanzialmente costante, l'oggetto (5) essendo disposto sulla traiettoria del fascio (2) in modo da originare, nella distribuzione di campo a valle dell'oggetto stesso (5), punti di discontinuità in corrispondenza di punti interessati dalla misura;
- 20 - mezzi di elaborazione ottica (6), comprendenti una prima e una seconda lente convergente confocali (7, 9) e un filtro spaziale (8; 28) posto nel piano focale comune (C) di dette lenti, detti mezzi di elaborazione ottica (6) essendo disposti a valle dell'oggetto (5) in modo tale che questo si trovi nel piano focale (A) della prima lente (7) opposto al piano focale comune (C);
- 25 - mezzi di rivelazione (10), posti nel piano focale (E) della seconda lente (9) opposto al piano focale comune (C), per raccogliere un fascio filtrato uscente dai mezzi di
- 30

elaborazione ottica e generare un segnale elettrico rappresentativo dell'intensità della distribuzione di campo associata a tale fascio filtrato;

- 5 - mezzi (11) di elaborazione di detto segnale elettrico, atti a fornire il valore di una grandezza cercata,

caratterizzato dal fatto che il filtro spaziale (8; 28) è un filtro ottico passa banda, che origina sui mezzi di rivelazione (10) una distribuzione di campo continua costituita dalla somma di una pluralità di funzioni tra loro identiche eccettuato il segno, centrate in esatta corrispondenza di un punto di discontinuità e dipendenti unicamente dalle caratteristiche del filtro passa banda (8; 28), tale distribuzione di campo avendo un'intensità che presenta una coppia di pronunciati punti di massimo (picchi) (100', 101', 100'', 101'') separati da un minimo (102', 102'') in corrispondenza di ciascun punto di discontinuità i mezzi (11) di elaborazione del segnale elettrico essendo atti a determinare la posizione relativa di detto minimo (102', 102'') rispetto a un asse ottico dei mezzi di elaborazione ottica (6).

13. Dispositivo secondo la riv. 12, caratterizzato dal fatto che detti mezzi di elaborazione del segnale elettrico (11) comprendono un filtro passa banda (12), con frequenze temporali di taglio corrispondenti alle frequenze di taglio spaziali del filtro passa banda ottico (8; 28).

14. Dispositivo secondo la riv. 12 o 13, caratterizzato dal fatto che detto oggetto (5) è disposto nel fascio di luce monocromatica (2) in posizione tale che almeno uno di detti punti di discontinuità sia costituito da un bordo dell'oggetto (5).

15. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 12 a 14, caratterizzato dal fatto che detto filtro passa banda ottico (8; 28) è atto ad originare, su detto piano di rivelazione (E), una

- distribuzione di campo continua comprendente, in corrispondenza di ogni punto di discontinuità, gruppi oscillanti con frequenza di oscillazione e durata dipendenti dalle caratteristiche del filtraggio passa banda, e centro di oscillazione legato alla posizione del rispettivo punto di discontinuità, i gruppi oscillanti avendo un'intensità che presenta detta coppia di pronunciati punti di massimo (100', 101', 100", 101") separati da un minimo (102', 102") in corrispondenza del centro di oscillazione.
- 5
- 10 16. Dispositivo secondo la riv. 15, caratterizzato dal fatto che detto filtro passa banda ottico (8; 28) è costituito da un elemento comprendente una zona opaca (8'; 28') centrata sull'asse del fascio (2) e avente una prima larghezza (w_{10}), e una zona trasparente (8"; 28") centrata anch'essa sull'asse del fascio (2) e
- 15 avente una seconda larghezza (w_{h1}), maggiore della prima.
17. Dispositivo secondo la riv. 16, caratterizzato dal fatto che detta prima e seconda larghezza (w_{10} , w_{h1}) soddisfano alla condizione
- $$2,5 \leq w_{h1}/w_{10} \leq 7.$$
18. Dispositivo secondo la riv. 17, caratterizzato dal fatto che detta
- 20 prima e seconda larghezza (w_{10} , w_{h1}) soddisfano alla condizione
- $$w_{h1}/w_{10} = n, \text{ con } n \text{ intero e dispari.}$$
19. Dispositivo secondo la riv. 18, caratterizzato dal fatto che detta prima e seconda larghezza (w_{10} , w_{h1}) soddisfano alla condizione
- $$w_{h1}/w_{10} = n, \text{ con } n \leq 5.$$
- 25 20. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 12 a 19, caratterizzato dal fatto che detta prima lente (7) è una lente cilindrica, con direttrici parallele alla direzione data.
21. Dispositivo secondo le rivendicazioni 16 e 20, caratterizzato dal fatto che le zone opaca e trasparente (8', 8") del filtro spaziale
- 30 (8) hanno forma allungata, si estendono parallelamente alle

direttrici della lente cilindrica (7) e hanno lunghezza determinata dal campo visivo di detta lente cilindrica (7).

22. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 16 a 19, caratterizzato dal fatto che la zona trasparente (28'') è una
5 corona circolare che circonda la zona opaca (28').

23. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 12 a 14, caratterizzato dal fatto che detto filtro passa banda ottico è una maschera che presenta zone opache e trasparenti asimmetriche rispetto all'asse del fascio (2).

10 24. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 12 a 14, caratterizzato dal fatto che detto filtro passa banda ottico è una maschera che presenta una transizione graduale di trasmissività tra zone disposte in corrispondenza della banda
passante e zone disposte in corrispondenza di bande da
15 eliminare.

25. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 12 a 14, caratterizzato dal fatto che detto filtro passa banda ottico è
costituito da un reticolo.

PROCEDIMENTO E DISPOSITIVO PER L'EFFETTUAZIONE DI MISURE GEOMETRICHE SU OGGETTI

RIASSUNTO

Una sorgente luminosa (1) invia verso un oggetto in esame (5) un fascio di luce (2) con dimensioni tali da abbracciare l'oggetto (5).
5 A valle dell'oggetto (5), il fascio (2) viene elaborato da un sistema di elaborazione ottica (6), comprendente un filtro spaziale passa banda (8) posto nel piano di Fourier di una lente convergente (7) nel cui fuoco anteriore è posto l'oggetto (5). Il fascio filtrato è
10 raccolto da un rivelatore (10) che genera un segnale elettrico rappresentativo dell'intensità della distribuzione di campo associata a tale fascio. Un sistema (11) di elaborazione del segnale elettrico, comprendente un filtro passa banda (12) con frequenze temporali di taglio corrispondenti a quelle spaziali del filtro spaziale
15 dell'elaboratore ottico (6), ricava dal segnale elettrico il valore della grandezza cercata. (Fig. 1)

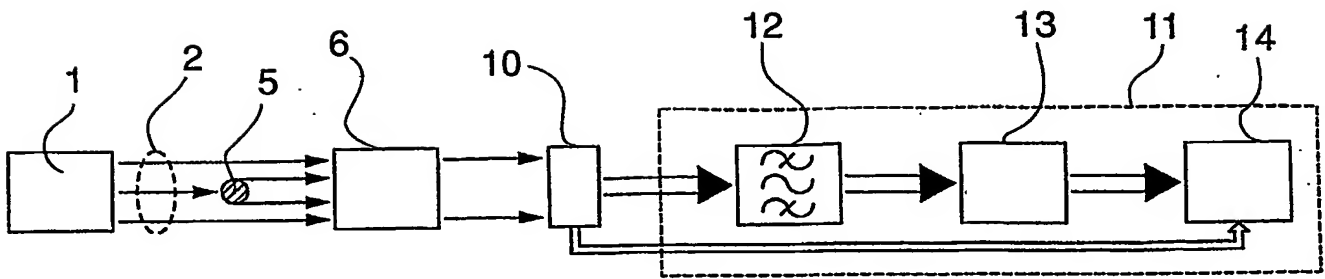


Fig. 1

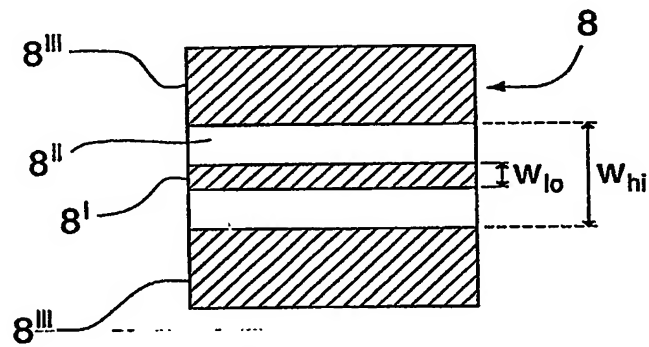


Fig. 4a

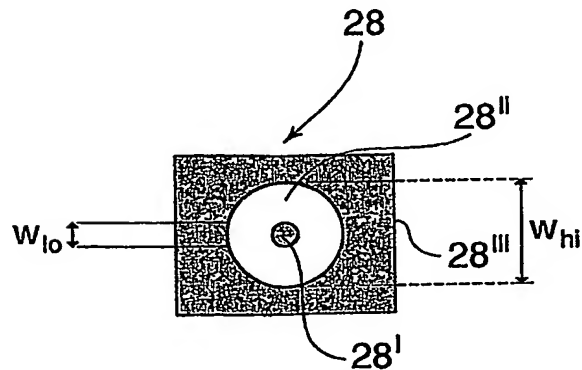


Fig. 4b

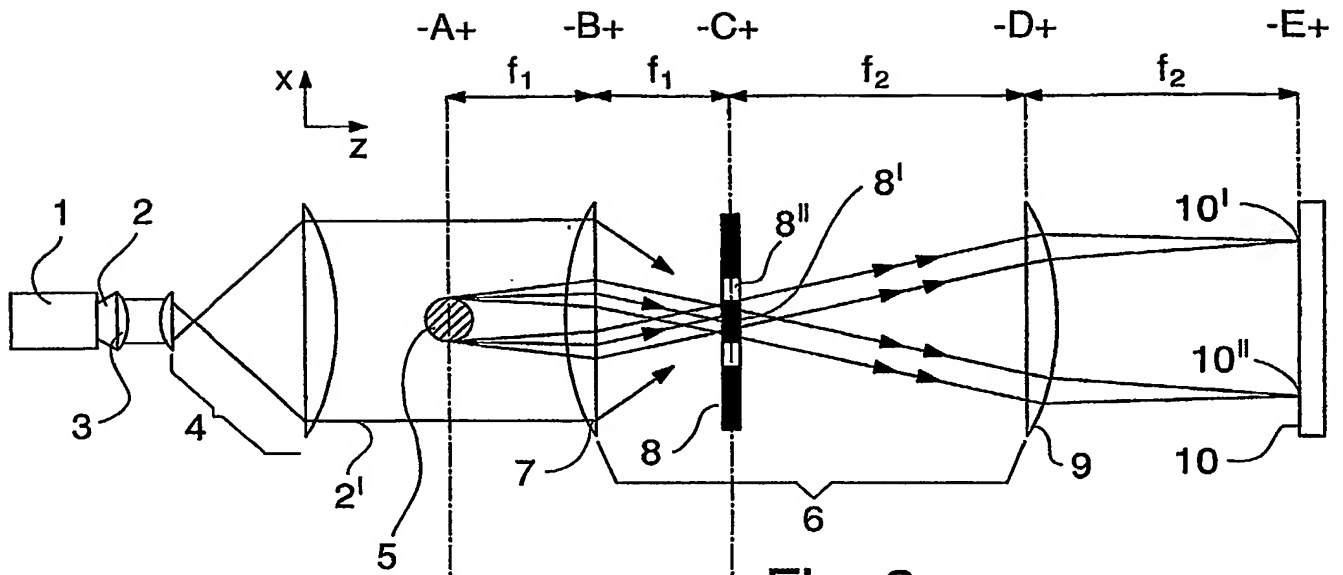


Fig. 2

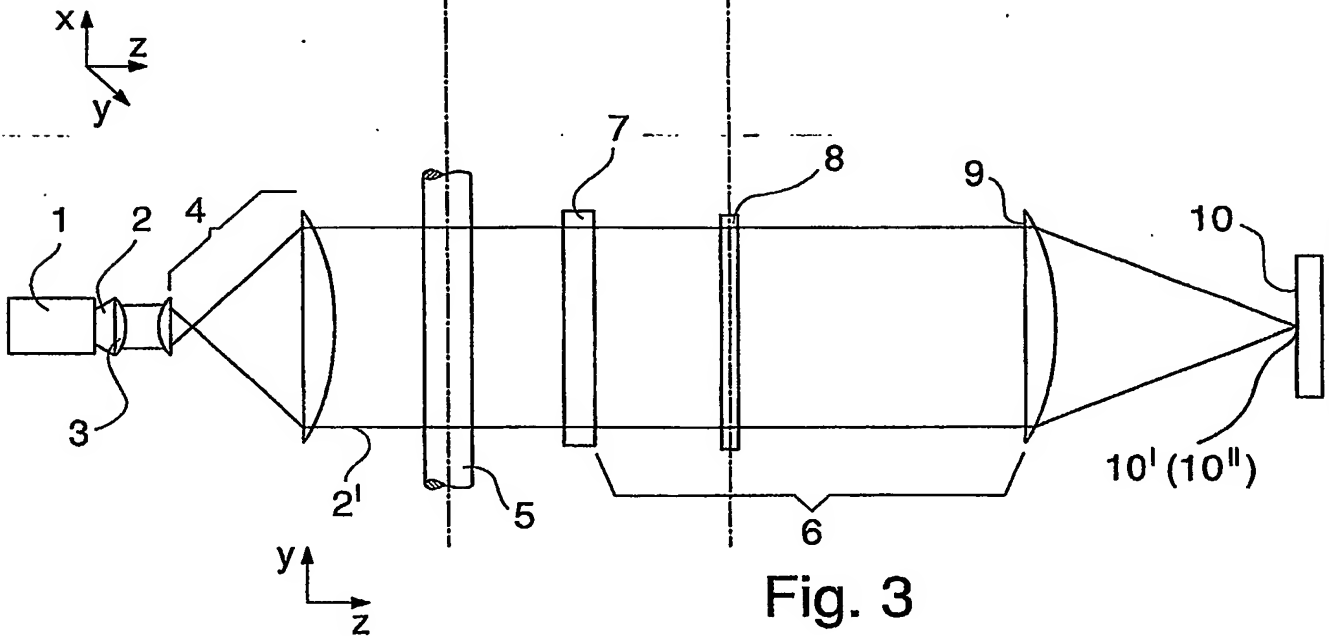


Fig. 3

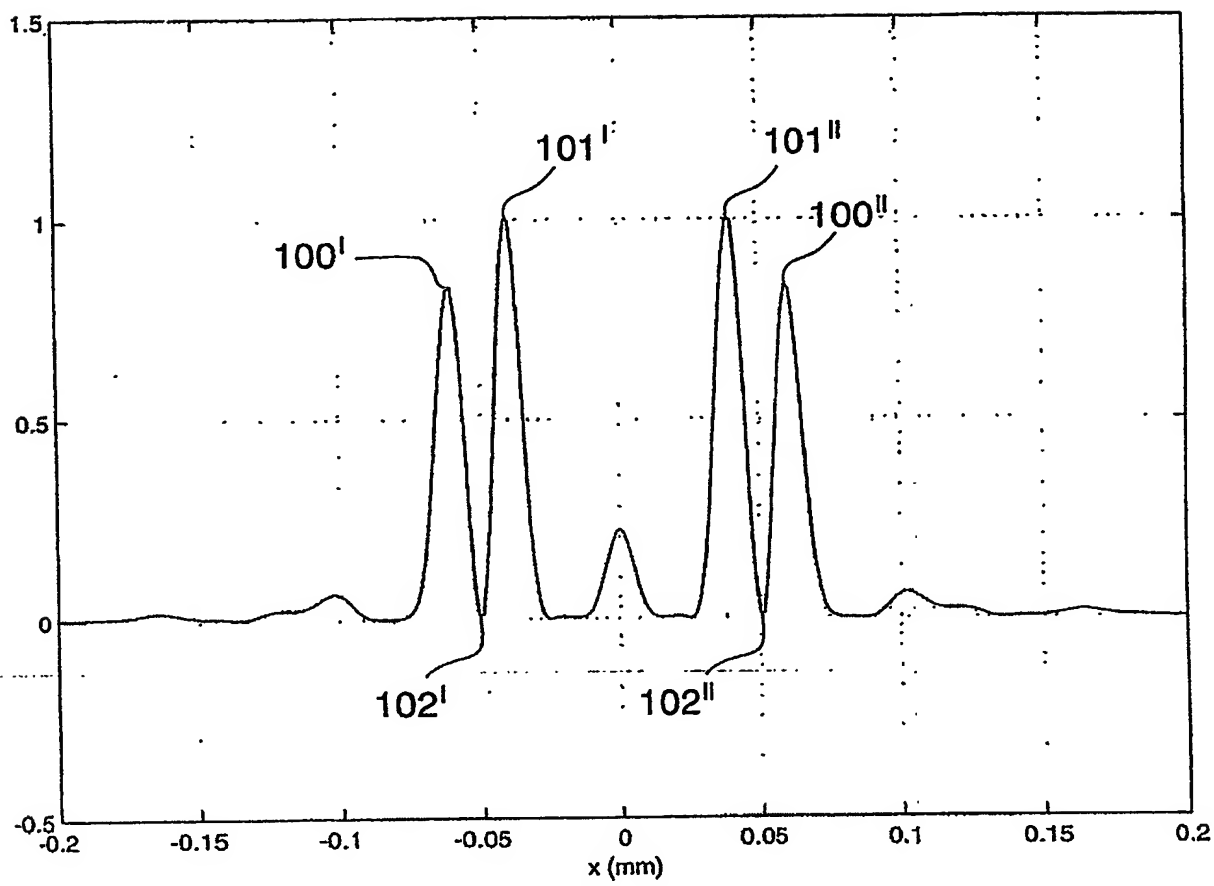


Fig. 5a

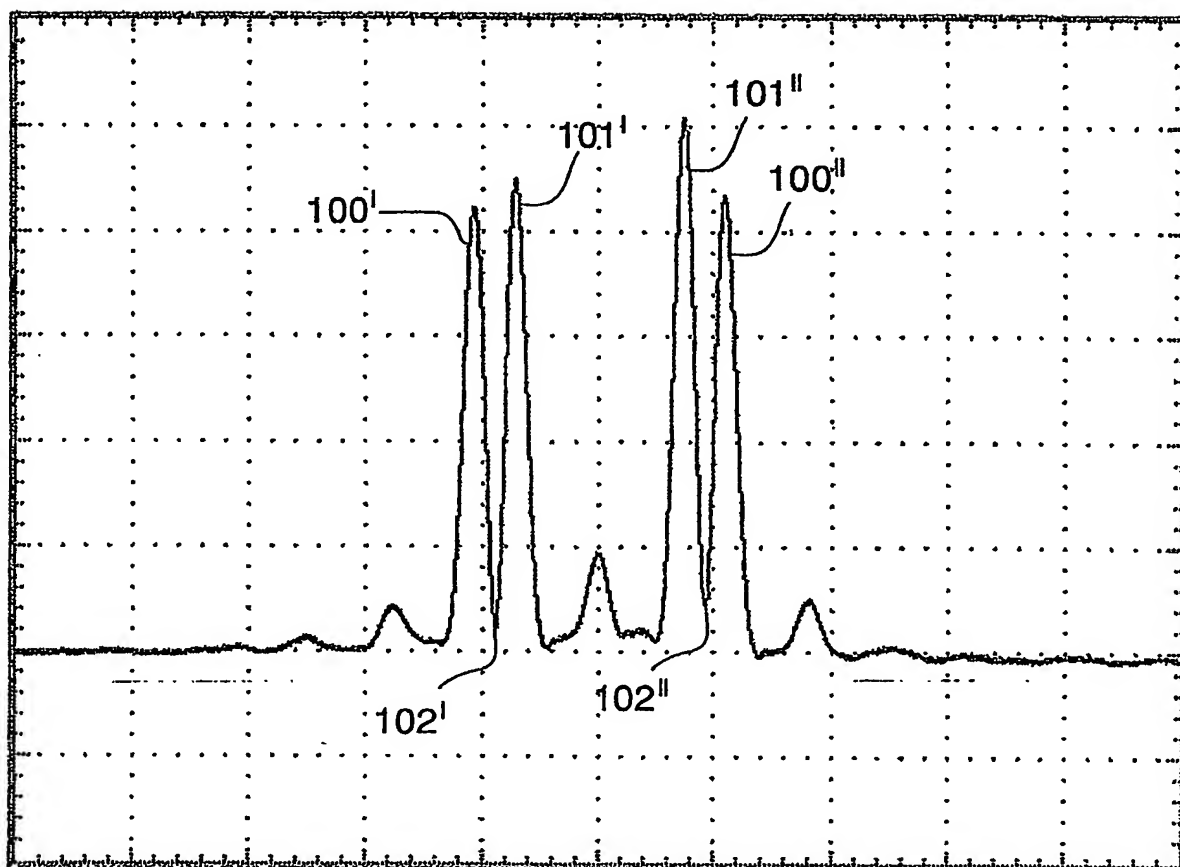


Fig. 5b

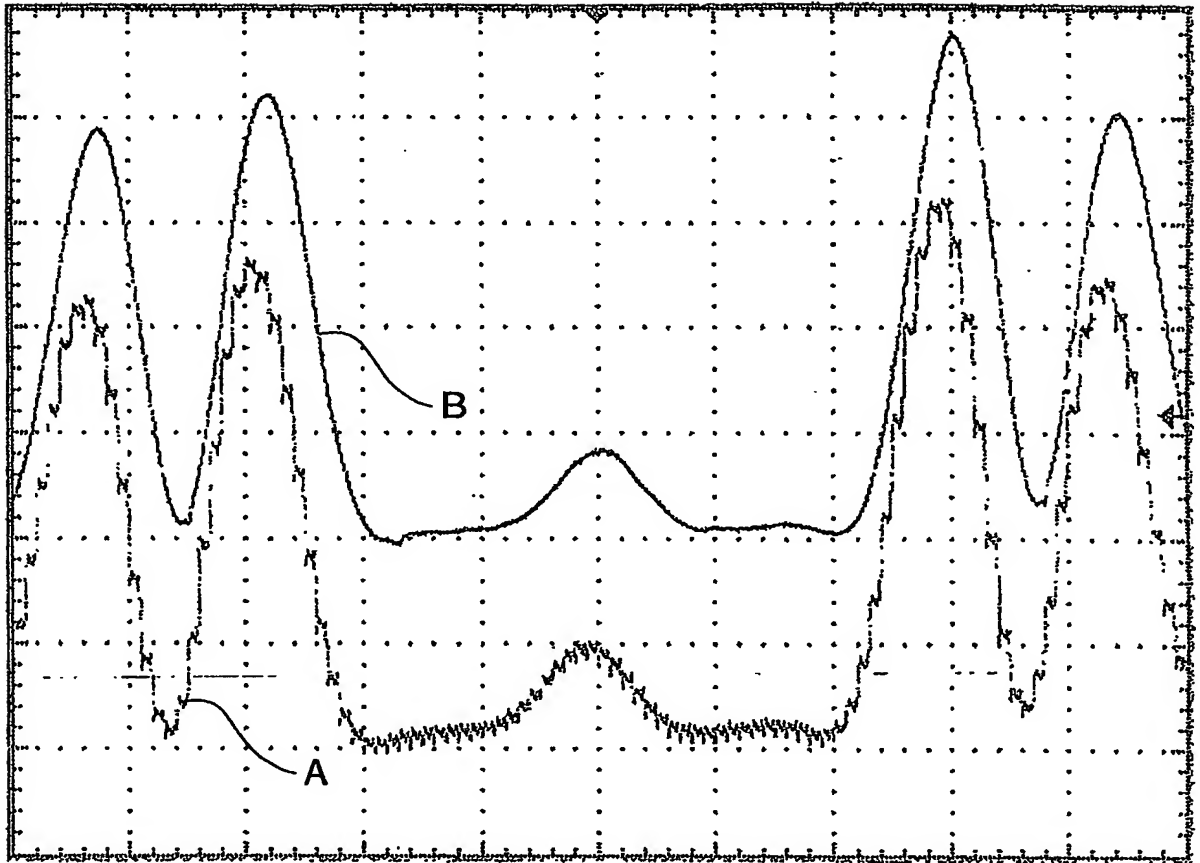


Fig. 6

6/7

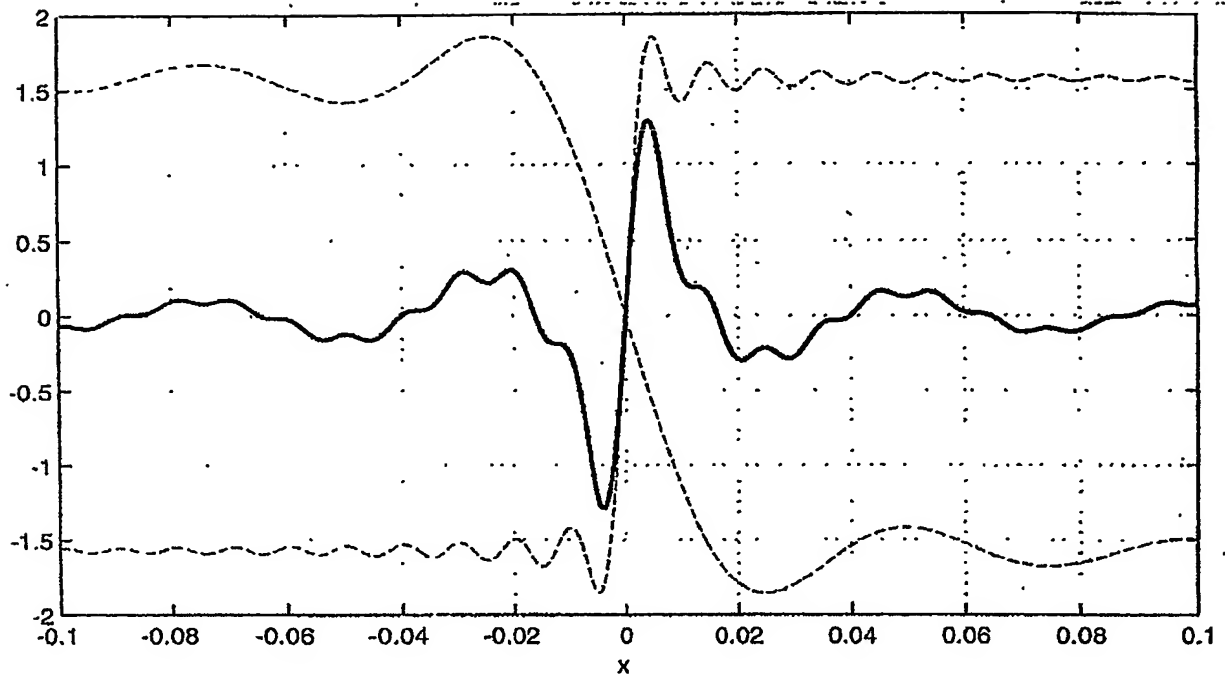


Fig. 7a

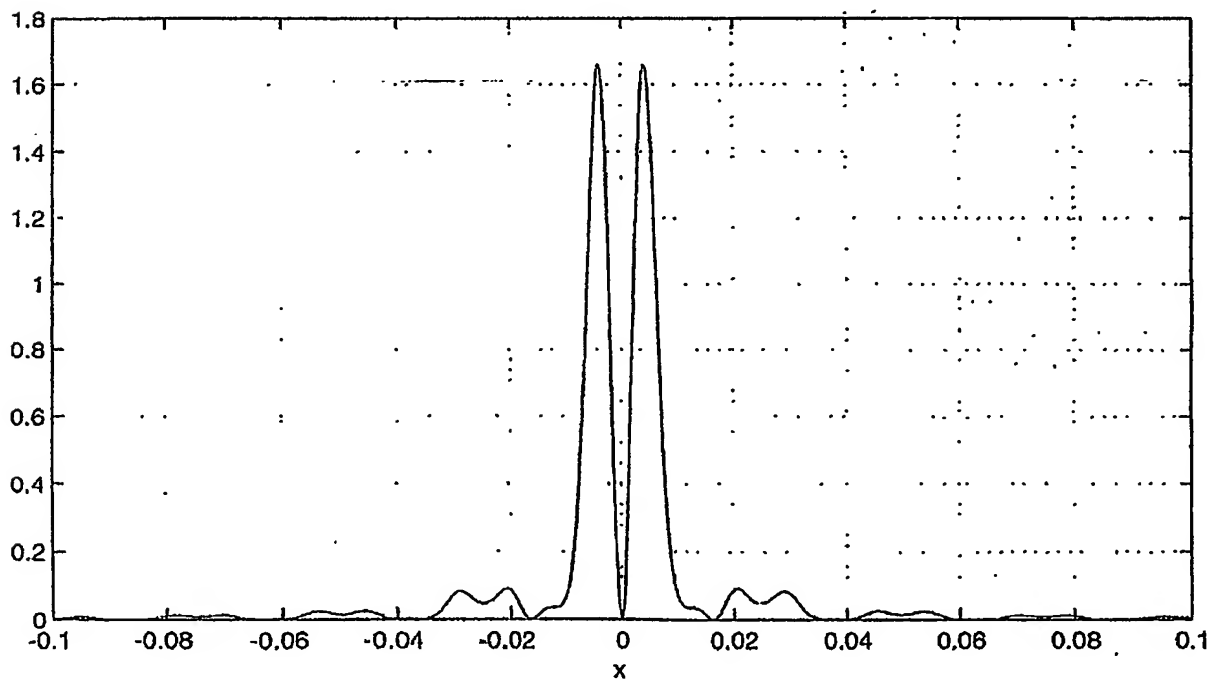


Fig. 7b

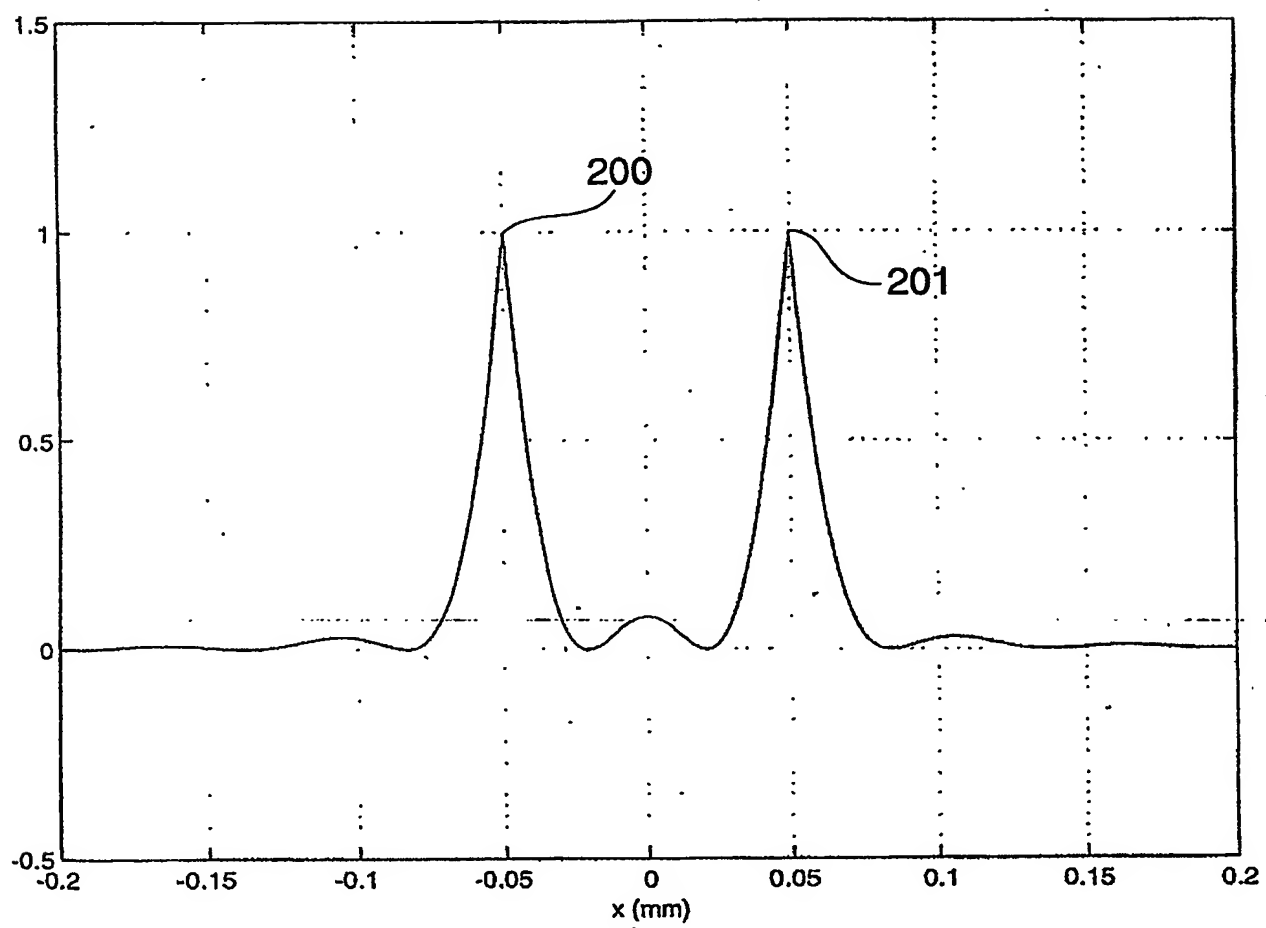


Fig. 8

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.